Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung.

XVI.

Über das Treiben von Pflanzen mittels Radium

von

Hans Molisch,
w. M. k. Akad.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der k. k. Universität in Wien.
Nr. 28 der zweiten Folge.

(Mit 2 Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. März 1912.)

I. Einleitung.

In letzter Zeit hat man der vorzeitigen Wiedererweckung der Pflanzen aus ihrer Ruheperiode mehrfach große Aufmerksamkeit geschenkt und es läßt sich nicht leugnen, daß auf diesem Gebiete, welches von großer theoretischer und auch praktischer Bedeutung ist, auffallende Fortschritte gemacht worden sind. Ich erinnere nur an die Kälteversuche Hermann Müller's-Thurgau mit ruhenden Kartoffelknollen, an W. Johannsen's interessantes Ätherverfahren, an das von mir studierte Warmbadverfahren,[1] an die Verletzungsmethode Weber's,[2] an die Injektionsmethode Jesenko's[3] und verweise

---

[1] Molisch H., Das Warmbad als Mittel zum Treiben der Pflanzen. Jena 1909, bei G. Fischer. Hier auch die einschlägige Literatur.

[2] Weber F., Über die Abkürzung der Ruheperiode der Holzgewächse durch Verletzung der Knospen, beziehungsweise Injektion derselben mit Wasser (Verletzungsmethode). Sitzber. d. kais. Akad. d. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Bd. CXX, Abt. I, 1911.

[3] Jesenko Fr., Einige neue Verfahren, die Ruheperiode der Holzgewächse abzukürzen. Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1911, Bd. XXIX, p. 273.

im übrigen auf meine Zusammenfassung der diesbezüglichen Literatur in meinen Schriften[1] und auf die neueste Übersicht bei Burgerstein.[2]

Seit längerer Zeit mit Studien über das Verhalten der Pflanze unter dem Einflusse des Radiums und seiner Emanation beschäftigt, kam ich auf den Gedanken zu versuchen, ob nicht vielleicht durch die Bestrahlung mit Radium oder durch die Einwirkung der Radiumemanation die Ruheperiode so beeinflußt werden könnte, daß ein früheres Austreiben erfolgt. Von vorneherein ließ sich nichts Bestimmtes sagen, da ja durch Radium in der Regel eine Wachstumshemmung eintritt,[3] aber in einzelnen Fällen wurde doch festgestellt, daß die Keimung mancher Samen auch beschleunigt werden kann.[4] Obwohl es sich in diesen Befunden nicht um Samen handelte, die sich in freiwilliger Ruhe befanden, hier also keine Rede von einer Aufhebung der Ruheperiode sein kann, so lag doch ein Fingerzeig darin, daß eventuell durch Radium eine Lockerung oder Aufhebung der Ruheperiode ausgelöst werden könnte.

Ich begann meine Versuche über diesen Gegenstand im November des Herbstes 1910 im Radiuminstitut der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien und setzte sie hier sowie in dem von mir geleiteten pflanzenphysiologischen Institut bis zum Beginne des März 1912 fort.

Da ich speziell mit dem Treiben der Winterknospen von *Syringa vulgaris* von meinen Warmbadversuchen her viele Erfahrungen gesammelt hatte und da sich speziell *Syringa*

---

[1] Molisch H., Über ein einfaches Verfahren, Pflanzen zu treiben (Warmbadmethode). I. und II. Teil. Sitzber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. CXVII, 1908, p. 87, und Bd. CXVIII, 1909, p. 637.

[2] Burgerstein A., Fortschritte in der Technik des Treibens der Pflanzen. In Progressus rei botanicae. 4. Bd., 1911.

[3] Körnicke M., Über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf den pflanzlichen Organismus. Ber. d. Deutsch. bot. Ges., 1904, Bd. XXII, p. 148, und 1905, Bd. XXIII, p. 324. — Molisch H., Über Heliotropismus im Radiumlichte. Sitzber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, 1911, Bd. CXX, p. 311.

[4] Körnicke M., l. c., 1904, p. 160. — Gager Ch. S., Some physiological effects of radium Rays. Amer. naturalist, vol. XLII, No. 504, Dec. 1908, p. 766 u. f.

nach bekannten Erfahrungen der Gärtner und Pflanzenphysiologen ausgezeichnet treiben läßt, so wählte ich in erster Linie diese Pflanze für meine Experimente aus.

Die Radiumpräparate, die mir für meine Versuche zur Verfügung standen, trugen die Bezeichnung M_0, M_2 und Lackscheibchen *V*.

M_0 enthält 46·2 *mg* reines $RaCl_2$. Diese Menge ist äquivalent 35·3 *mg* Radiummetall. Die im Röhrchen vorhandene Substanz ist Radiumbaryumchlorid mit einem Prozentgehalt von 11·4% reinen Radiumchlorids.

M_2 führt gleichfalls Radiumbaryumchlorid mit einem Gehalt von 22·5% Radiumchlorid. Das Röhrchen enthält 29·4 *mg* reines $RaCl_2$, äquivalent 22·2 *mg* Radiummetall.

Da die eben besprochenen Präparate in Glasröhrchen eingeschlossen sind, werden die α-Strahlen zum großen Teil oder ganz absorbiert und es kommen daher sozusagen nur die β- und γ-Strahlen zur Wirkung. Um aber auch die Wirkung der α-Strahlen zu eruieren, benützte ich auch das schon in meiner Arbeit über Heliotropismus im Radiumlichte[1] erwähnte Lackscheibchen *V* (Dautwitz). Dieses besteht aus einem Metallscheibchen von 13 *mm* Durchmesser, auf dem in sehr dünner Lage (0·08 *mm*) Lack aufgetragen ist, der das Radiumpräparat gleichmäßig verteilt enthält. Das Scheibchen liefert durch seine α-Strahlen einen Sättigungsstrom von 123·5 elektrostatischen Einheiten. Die α-Strahlung ist also ziemlich stark.

Alle Versuchszweige eines und desselben Versuches wurden von ein und demselben Strauche abgeschnitten. Wenn mit dem Röhrchen bestrahlt wurde, wurden immer je fünf parallel so miteinander zusammengebunden, daß die fünf Paare Endknospen in einer Geraden nebeneinander standen. Die Knospen wurden auf das Röhrchen direkt so aufgelegt, daß das Röhrchen in die durch die parallel zueinander stehenden Knospenpaare gebildete Rinne zu liegen kam, wodurch die Knospen einer so weit als möglich gleichmäßigen Strahlung ausgesetzt wurden.

---

[1] Molisch H., Über Heliotropismus im Radiumlichte. Sitzber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, 1911, Bd. 120, p. 305.

Die Bestrahlung wurde in einer ungeheizten Dunkelkammer (12 bis 15° C.) vorgenommen und währte verschieden lang. Die bestrahlten Zweige blieben dabei ebenso wie die Kontrollzweige unbedeckt, also ungeschützt vor Transpiration liegen. Nach der Bestrahlung wurden alle Zweige in ein Glasgefäß mit Wasser eingestellt und dann gleichzeitig ins Warmhaus gebracht, wo sie im Lichte bei einer Temperatur von 12 bis 18° C. weiter kultiviert wurden.

II. Versuche mit festen Radiumpräparaten.

Syringa vulgaris.

I. Versuch. Beginn des Versuches am 16. November 1910. Dauer der Bestrahlung mit M_0 24 Stunden. Am 21. Dezember, also nach 35 Tagen zeigt sich kein wesentlicher Unterschied zwischen bestrahlten und unbestrahlten Knospen, es findet überhaupt kein Austreiben statt.

II. Versuch. Beginn des Versuches am 25. November 1910. Dauer der Bestrahlung 24 Stunden. Am 21. Dezember trieben zwei bestrahlte Knospen aus, der eine Trieb war bereits 3 *cm*, der andere 1·7 *cm* lang, auch die anderen Knospen waren etwas gestreckt, während bei den Kontrollexemplaren alles unverändert war. Am 16. Jänner 1911 wurde der Zweig photographiert. (Fig. 1.)

III. Versuch. Beginn des Versuches am 21. Dezember 1910.

1. Bündel, bestrahlt durch 1 Stunde mit M_0.
2. » » » 24 Stunden mit M_0.
3. » » » 24 » » M_2.
4. » » » 48 » » M_2.
5. » nicht bestrahlt (Kontrollversuch).

Nach 40 Tagen waren die Knospen der 24 bis 48 Stunden bestrahlten Bündel im Austreiben begriffen, die unbestrahlten aber nicht. Die am 16. Jänner 1911 angefertigte Photographie (Fig. 2) gibt ein klares Bild von dem Verhalten der Zweige. Das erste Bündel (links) war 48, das zweite 24, das dritte eine Stunde und das vierte gar nicht bestrahlt. Es ist deutlich zu sehen, daß die am längsten (48 Stunden) dem

Radium ausgesetzten Knospen im Treiben am weitesten vorgeschritten waren. Diesen zunächst stehen die 24 Stunden lang bestrahlten, hingegen wirkt eine Stunde Bestrahlung fast gar nicht auf das Treiben.

Aus den mitgeteilten Versuchen geht deutlich hervor, daß die Bestrahlung der Syringaknospen durch β- und γ-Strahlen Mitte November noch keine merkbare Wirkung auf das Treiben ausübt, wohl aber schon sehr deutlich in der zweiten Hälfte November und auch in der späteren Zeit der Nachruhe, wenn die Bestrahlung 1 bis 2 Tage währt. Macht man die Versuche im Laufe des Jänner, so zeigt sich keine Begünstigung des Treibens, die unbestrahlten treiben dann ebensogut oder sogar besser. Eine Bestrahlung von 72 Stunden wirkt zur Zeit, wenn die Nachruhe schon ausgeklungen ist, nicht selten hemmend oder schädigend auf die Knospen.

Im Herbste 1911 nahm ich die Versuche wieder auf, um weitere Erfahrungen zu sammeln. Zunächst wurde wieder mit dem früher bezeichneten Röhrchen und auch mit dem Scheibchen *V* gearbeitet. Die Versuche wurden hauptsächlich mit *Syringa vulgaris* von September bis Ende Dezember 1911 durchgeführt.

IV. Versuch. Beginn am 28. September 1911.

1. Bündel, bestrahlt durch 5 Minuten mit M_0.
2. » » » 15 » » »
3. » » » 60 » » »
4. » » » 24 Stunden » »
5. » » » 48 » » »
6. » » » 5 Minuten » Scheibchen *V*.
7. » » » 15 » » » »
8. » » » 60 » » » »
9. » » » 24 Stunden » » »
10. » » » 48 » » » »
11. » nicht bestrahlt (Kontrollversuch).

Am 3. November, beziehungsweise am 30. Dezember hatten nur die Knospen des Bündels 9 ganz wenig getrieben, die des Bündels 10 waren braun und abgestorben und die der anderen waren sozusagen unverändert geblieben. Die Bestrahlung hatte also zu dieser Zeit — im Vorherbst — keine oder eine minimale Wirkung auf das Treiben. Ein ähnliches Ergebnis erhielt ich bei einem Versuch, der Mitte Oktober gemacht wurde.

V. Versuch. Beginn am 4. November 1911.

1. Bündel, bestrahlt durch $^1/_4$ Stunde mit M_0.
2. » » » 1 » » »
3. » » » 24 Stunden » »
4. » » » 48 » » »
5. » » » $^1/_4$ Stunde » Scheibchen *V*.
6. » » » 1 » » » »
7. » » » 24 Stunden » » »
8. » » » 48 » » » »
9. » nicht bestrahlt (Kontrollversuch).

Am 23. November 1911 war ein Treiben bei Bündel 8 zu bemerken, die Knospenlänge war hier 1·7 gegen 1·2 *cm* bei den anderen. So blieb es auch bis 30. Dezember. Also nur die dem Scheibchen *V* durch 48 Stunden ausgesetzten Knospen zeigten zu dieser Zeit ein Treiben.

VI. Versuch. Beginn am 22. November 1911.

1. Bündel, bestrahlt durch 1 Stunde mit M_0.
2. » » » 24 Stunden » »
3. » » » 1 Stunde » Scheibchen *V*.
4. » » » 24 Stunden » » »
5. » » » 48 » » » »
6. » nicht bestrahlt (Kontrollversuch).

Am 30. Dezember war bei 2 und 5 ein deutliches Treiben zu sehen, bei den anderen aber nicht.

Wenn wir die im Jahre 1910 und 1911 gemachten Versuche, die mit den im Glasröhrchen und Lackscheibchen befindlichen Radiumpräparaten durchgeführt wurden, überschauen, so zeigt sich, daß der Einfluß der Bestrahlung — eine gewisse Dauer vorausgesetzt — sich auf die Ruheperiode

geltend macht, aber nicht im Vorherbst, sondern erst zu einer Zeit, wenn die Ruhe nicht mehr allzu fest ist, also zu einer Zeit, wenn auch die anderen Treibverfahren, z. B. das Ätherverfahren oder das Warmbad, am wirksamsten eingreifen. Die Bestrahlung darf nicht zu kurz und nicht allzu lange dauern; im ersteren Falle wirkt sie überhaupt nicht, im letzteren Falle wirkt die Bestrahlung hemmend, schädigend oder sogar tötend.

Im allgemeinen fielen die Versuche im Jahre 1910 günstiger aus als im Jahre 1911. Das scheint mit dem Zustand der Knospen zusammenzuhängen, denn ich habe bemerkt, daß das Treiben von *Syringa* und *Forsythia*, die sich gewöhnlich sehr leicht treiben lassen, im Herbste 1911 nicht so prompt von statten ging wie in den vorhergehenden Jahren.

III. Versuche mit Radiumemanation.

Die Bestrahlung von Knospen mit Radiumröhrchen oder Radiumscheibchen hat insoferne einen großen Nachteil, als die Knospen höchst ungleichmäßig von der Strahlung getroffen werden. Die einzelnen Teile der Knospe liegen von der strahlenden Fläche verschieden entfernt, müssen also schon aus diesem Grunde von ungleich intensiver Strahlung beeinflußt werden. Dazu kommt noch die Absorption der Strahlen durch die Gewebe der Knospenschuppen, der jungen Blättchen und Blütenstände, die gleichfalls zu einer höchst ungleichen Wirkung der Strahlung in qualitativer und quantitativer Hinsicht in den einzelnen Regionen der Knospe führen muß. Daher erschien es mir namentlich mit Rücksicht auf die α-Strahlung wünschenswert, auch die Wirkung der Radiumemanation auf das Treiben zu untersuchen, denn da es sich ja bei der Emanation um ein flüchtiges Gas handelt, so war schon deshalb ein viel gleichmäßigerer Angriff zu erwarten. Diese Vermutung hat sich dann auch bestätigt, denn wie gleich hier bemerkt werden soll, ist die Einwirkung der Emanation auf ruhende Knospen viel auffälliger als die von meinen Glasröhrchen und Scheibchen ausgehende Strahlung.

Methodik. Um die zu untersuchenden Pflanzen der Emanation auszusetzen, benützte ich den in der Fig. 5

abgebildeten Apparat. Ein zylindrisches Glasgefäß von 24 *cm* Höhe und 16·5 *cm* Breite, das oben mit einem Glasdeckel verschlossen war, diente als Emanationsraum. Der erwähnte Deckel ist mittels Vaselin luftdicht auf das Gefäß aufgesetzt und trägt einen mit einem Kautschukpfropf verschlossenen Hals, der von einem Glasrohr durchsetzt ist. Dieses führt nach unten in den Kulturraum, gabelt sich oben und war im übrigen so eingerichtet, daß die mit der Kautschukbirne eingepreßte Luft bei dem einen Gabelast in den Kulturraum hineinströmen und durch ein Loch in den anderen Gabelast abstreichen konnte.

Durch zwei Kautschukschläuche stand der Kulturraum mit einer Waschflasche in Verbindung, die eine wässerige Lösung von Radiumchlorid enthielt. In der Lösung waren im ganzen 15·1 *mg* $RaCl_2$ = 11·5 *mg* Ra (Element) vorhanden.

Die Radiumlösung erzeugt beständig Emanation. Durch häufiges, etwa 20maliges Zusammendrücken der Kautschukbirne wird die Emanation, die bekanntlich ein Gas darstellt, täglich aus der Waschflasche in den Kulturraum übergeführt und dieser auf diese Weise mit Emanation versehen. Bei dem Zusammenpressen der Kautschukbirne hebt sich mitunter der Deckel des Kulturgefäßes. Um dies zu verhindern, genügt es, an zwei gegenüberliegenden Stellen die Ränder des Glasdeckels und des Glaszylinders mittels eines bandartigen Streifens von Kautschukheftpflaster aneinanderzupressen. Nachdem die Emanation in das Versuchsgefäß hinübergeleitet worden war und mit der Emanationsluft des Erzeugungsgefäßes im Gleichgewichte stand, wurden die Hähne des letzteren geschlossen. Wenn alle 24 Stunden gequirlt und Emanation in den Versuchsraum geleitet wurde, so gelangen in den Versuchsraum zirka 16 % der Gleichgewichtsmenge, also 1·84 *mg* Ra-Äquivalent = 1·84 Millicurie Emanation, wenn alle 48 Stunden Emanation durchgeleitet wurde, so treten 30 % der Gleichgewichtsmenge, also 3·45 Millicurie über. Da ein Teil der Emanation in dem Luftraum über der Radiumlösung, in den Schlauchverbindungen und in der Lösung selbst verbleibt, so wäre dieser von den angegebenen Werten des Emanationsgehaltes noch in Abzug zu bringen. Sie würden sich nach Abzug um etwa 7 % niedriger

stellen. Ein Millicurie Emanation in 1 *l* Luft entspricht etwa 2·4 Millionen Mache-Einheiten. Die Emanation wurde alle 24 oder 48 Stunden erneuert.

War das Kulturgefäß mit Emanation versehen und brachte man den ganzen Apparat ins Finstere, so konnte man mit dunkeladaptiertem Auge deutlich ein Leuchten im Innern der beiden Gefäße (Radiumlösung und Kulturraum) wahrnehmen.

Für den Kontrollversuch diente ein vollkommen gleicher Apparat, der einzige Unterschied bestand bloß darin, daß die Waschflasche hier keine Radiumlösung, sondern nur destilliertes Wasser enthielt. Um ja alle Versuchsbedingungen, hier wie dort, vollständig gleich zu machen, wurde auch in dem Kontrollapparat die Luft ebenso oft mit der Kautschukbirne durchgequirlt wie in dem Emanationsapparat.

Je sechs etwa 15 *cm* lange,[1] frisch im Freien abgeschnittene Zweige, die bei jedem Versuch immer von ein und demselben Strauche herrührten, wurden zu einem Bündel vereinigt und dann in die Versuchsgefäße mit und ohne Emanation gebracht. Die Kontrollzweige waren unter ganz denselben Bedingungen (gleiche Feuchtigkeit, gleiche Temperatur etc.) wie die Zweige im Emanationsgefäß, nur fehlte natürlich die Emanation. Die Temperatur betrug 20 bis 22° C. Es sei noch ausdrücklich hervorgehoben, daß die Kontroll- und die Emanationszweige nach der Emanationsbeeinflussung alle gleichzeitig ins Warmhaus gebracht und hier bei einer Temperatur von 14 bis 18° C. im Lichte, mit Glasglocken bedeckt, weiter kultiviert wurden.

Nicht unerwähnt möchte ich lassen, daß alle Manipulationen mit Emanation wegen ihrer Schädlichkeit für menschliche Gewebe bei etwas stärkerer Konzentration mit der größten

[1] Es ist bei Treibversuchen nicht gleichgültig, wie lange der abgeschnittene Versuchszweig ist. Wenn man im Jänner oder anfangs Februar z. B. von der Linde größere Sproßsysteme von 30 bis 50 *cm* Länge ins Wasser stellt und daneben einzelne kurze Sprosse von 10 bis 15 *cm* Länge, so treiben im Warmhause die Endknospen der längeren Sproßsysteme aus, die der kurzen Zweige aber nicht. Die Ursache dieser Erscheinung ist mir nicht bekannt. Sollte der größere Reservestoffvorrat in den größeren Zweigsystemen hierbei eine Rolle spielen?

Vorsicht durchgeführt werden müssen und daß eine Berührung mit der Emanation womöglich auszuschließen ist oder, wie bei der Entnahme der Objekte aus dem Emanationsgefäß, auf ein Minimum beschränkt bleibt.

Nach jeder Berührung der Hände mit Emanation empfiehlt es sich, eine Waschung der Hände vorzunehmen, um etwa anhaftende Emanation zu entfernen.

Syringa vulgaris.

I. Versuch am 27. November 1911.

1. Bündel in Emanation durch 20 Stunden
2. » » » » 48 »
3. » » » » 72 »
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 10. Dezember treibt Bündel 3, die anderen nicht. Am 23. Dezember treibt Bündel 4 nicht, 1 mäßig, 2 sehr gut und 3 ausgezeichnet.

Am 30. Dezember treibt 4 immer noch nicht, hingegen haben alle, die der Emanation ausgesetzt waren, sehr gut getrieben. Die Bündel 2 und 3 am besten. Von dem Aussehen der Zweige am 23. Dezember gibt eine gute Vorstellung Fig. 3.

II. Versuch am 6. Dezember 1911.

1. Bündel in Emanation durch 24 Stunden.
2. » » » » 72 »
3. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 21. Dezember waren die Zweige des Kontrollversuches unverändert, hingegen treiben die Emanationszweige sehr schön, und zwar 2 am besten.

Am 30. Dezember treiben die Knospen des Kontrollzweiges immer noch nicht, während die von 1 und 2 ihre Blütentrauben vollständig aus den Knospen hervorgeschoben hatten. Die maximale Länge der Triebe betrug 3·5 *cm*.

III. Versuch am 11. Dezember 1911.

1. Bündel in Emanation durch 1 Tag.
2. » » » » 3 Tage.
3. » » » » 6 »
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 30. Dezember treiben 4 und 1 nicht, wohl aber die beiden anderen, am besten 2. Hier sind die Knospen im Maximum 2·5 *cm* lang.

IV. Versuch am 30. Dezember 1911.

1. Bündel in Emanation durch 48 Stunden.
2. » » » » 96 »
3. » » » » 120 »
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 15. Jänner 1912 treiben alle drei Emanationszweige, am besten 1 und 2, hingegen zeigen nur einzelne Knospen des Kontrollbündels eine Spur von Treiben.

V. Versuch am 19. Jänner 1912.

1. Bündel in Emanation durch 16 Stunden.
2. » » » » 24 »
3. » » » » 3 Tage.
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 27. Jänner treiben alle Knospen ziemlich gleich stark, die Ruheperiode ist aber schon vorüber.

Am 6. Februar beträgt die Länge der Triebe durchschnittlich

bei 4 . . . . . 6 *cm*.
» 1 . . . . . 3 bis 4 *cm*.
» 2 . . . . . 2 » 3·5 *cm*.
» 3 . . . . . 1 » 1·5 »

Der Versuch zeigt deutlich, daß zu einer Zeit, wo die Ruheperiode schon abgeklungen ist, die Emanation nicht mehr eine Förderung, sondern eine Hemmung des Wachstums hervorruft.

Aesculus Hippocastanum.

I. Versuch am 14. Dezember 1911.

1. Bündel in Emanation durch 1 Tag.
2. » » » » 4 Tage.
3. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

In jedem Bündel waren vier etwa 15 *cm* lange Zweige. Am 4. Jänner 1912 beginnen die Knospen bei 1 und 2 sich zu strecken, bei 2 stärker als bei 1. Die Kontrollknospen sind unverändert.

Am 15. Jänner sind alle Emanationsknospen den Kontrollknospen, die sich eben erst zu strecken beginnen, weit vor, besonders die Knospen, die nur 24 Stunden der Emanation ausgesetzt waren. Ihre Länge beträgt durchschnittlich 6·5 *cm*, bei Bündel 2 etwa 4 *cm* und bei den Kontrollknospen 3 *cm*. Von der eminenten Wirkung der Emanation gibt die Fig. 4 (Photographie) des Kontrollbündels und des Bündels 1 eine deutliche Vorstellung.

II. Versuch am 8. Jänner 1912.

1. Bündel in Emanation durch 1 Tag.
2. » » » » 2 Tage.
3. » » » » 4 »
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 27. Jänner treiben alle, am besten 2, dann in absteigender Folge 1, 3 und 4.

Am 12. Februar sind die Triebe bei 4 und 1 am längsten (5 bis 7 *cm*), etwas kürzer sind die von 2 und 3 (4 bis 6 *cm*), am meisten zurück sind die von 3. Die günstige Einwirkung der Emanation ist also auch hier anfangs noch kenntlich, allein die

Kontrollpflanzen überflügeln, weil die Ruheperiode schon ausgeklungen ist, später die Emanationspflanzen, und bei längerer Dauer der Emanation zeigt sich, daß dann sogar eine bedeutende Hemmung im Wachstum gegenüber den Kontrollpflanzen platzgreift.

III. Versuch am 12. Jänner 1912.

1. Bündel in Emanation durch 3 Tage.
2. » » » » 5 »
3. » » » » 7 »
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 6. Februar. Alle beginnen zu treiben. Kein besonderer Unterschied.

Am 12. Februar sind die Knospen von 4 bedeutend vor, ihre Trieblänge beträgt etwa 4 bis 5 *cm*. Dann kommen in absteigender Reihenfolge 1, 2 und 3.

IV. Versuch am 19. Jänner 1912.

1. Bündel in Emanation durch 16 Stunden.
2. » » » » 24 »
3. » » » » 3 Tage.
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 12. Februar treiben alle, aber die Kontrollknospen (4) sind am weitesten vor.

Die Versuche mit *Aesculus* ergaben ebenso wie die mit *Syringa*, daß die Emanation in einem gewissen Stadium der Ruhe (Dezember) die Wachstumshemmung aufhebt und ein frühzeitiges Austreiben zu veranlassen vermag. Sowie die Ruheperiode ausklingt, hört dieser Einfluß auf und kann auch in den entgegengesetzten umschlagen, indem die Emanation das Wachstum hemmt.

Liriodendron tulipifera.

I. Versuch am 22. Jänner 1912.

1. Bündel in Emanation durch 16 Stunden.
2. » » » » 24 »
3. » » » » 3 Tage.
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 12. Februar treiben alle Knospen mit Ausnahme von 4. Am besten entwickeln sich 2 und 3.

Am 23. Februar. Die Kontrollknospen treiben immer noch nicht, während sich die Emanationsknospen gut weiter entwickeln.

Am 2. März. Nun treiben auch die Kontrollknospen, weil die Ruheperiode vorüber ist. Die Emanation wirkt aber zur Zeit der Ruhe (Jänner) treibend.

Acer platanoides.

Versuch am 5. Februar 1912.

1. Bündel in Emanation durch 7 Stunden.
2. » » » » 1 Tag,
3. » » » » 2 Tage.
4. » » » » 3 »
5. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

Am 16. Februar. Die Knospen von 1 beginnen ein wenig zu treiben, die anderen nicht.

Am 23. Februar. Mit Ausnahme von 5 treiben alle, am besten 3 und 4.

Am 1. März. Nun treiben auch die Knospen von 5, sie sind aber gegen die mit Emanation behandelten zurück. Am weitesten vor sind die Knospen von 3 und 4.

Als ich denselben Versuch am 16. Februar 1912 wiederholte, zeigte sich wieder, daß eine 24- bis 48stündige Emanations-

wirkung das Treiben begünstigt, daß aber eine längere Einwirkung, eine etwa 3- bis 4tägige, das Austreiben sichtlich hemmt.

Staphylea pinnata.

Versuch am 8. Jänner 1912.

1. Bündel in Emanation durch 1 Tag.
2. » » » » 2 Tage.
3. » » » » 4 »
4. » stets in reiner Luft (Kontrollversuch).

27. Jänner. Alle Knospen treiben, aber die Emanationsknospen stärker als die Kontrollknospen. Am besten die Knospen 3 und 2.

6. Februar. Wie vorher, die Triebe von 3 sind 1·5 bis 2 *cm* lang.

12. Februar. Die Emanationsknospen sind mit Ausnahme von 3 den Kontrollknospen vor und treiben gleichmäßiger.

Ich habe während des Herbstes und des Winters 1911/12 auch Versuche mit verschiedenen anderen Holzgewächsen gemacht, so mit *Gingko*, der Linde, der Rotbuche und der Platane, aber keine positiven Resultate erhalten. Es ist ja bekannt, daß sich Linde und Rotbuche auch den anderen Treibverfahren, dem Ätherisieren und dem Warmbad gegenüber sehr hartnäckig verhalten, weil ihre Ruheperiode eine besonders tiefe zu sein scheint.

Es wurde nicht im speziellen untersucht, welche Strahlen des Radiums die Ruheperiode abkürzen, da sich einer derartigen Prüfung große Schwierigkeiten in den Weg stellen. Meine ersten Versuche wurden mit Glasröhrchen gemacht, die den α-Strahlen keinen oder so gut wie keinen Durchzug gestatten. In diesen Experimenten haben daher nur die β- oder nur die γ- oder beide Strahlen die Wirkung hervorgerufen. Bei den Versuchen mit den Lackscheibchen und der Emanation kamen auch α-Strahlen in Betracht und da im letzteren Falle die Wirkung eine sehr prägnante war, so läßt sich vermuten, daß die α-Strahlen sicherlich die β- und γ-Strahlen nicht hemmen, sondern sie höchst wahrscheinlich unterstützen, vorausgesetzt,

daß das Emanationsgas nicht als solches, sondern durch die von ihm ausgehende Strahlung wirkt.

Heute, da wir über die Einwirkung des Radiums auf die lebende Substanz der Pflanze noch so wenig wissen, erscheint es wenig erfolgversprechend, eine brauchbare Hypothese über die Aufhebung der Ruheperiode durch das Radium aufzustellen. Ich erinnere daran, daß ja beim Warmbad und beim Ätherverfahren, wo die Sachen insofern einfacher liegen, als wir ja über die Natur des einwirkenden Faktors, des Wassers und des Äthers, besser unterrichtet sind, noch weit entfernt davon sind, ganz befriedigende Erklärungen geben zu können. Man könnte allerdings daran denken, daß die Fermente, vielleicht die Diastase und andere, durch die Strahlung aktiviert oder in ihrer Entstehung gefördert werden und hierdurch die Hydrolysierung der Stärke in Fluß gebracht wird. Doch dieser Gedanke bedarf spezieller Untersuchungen, über die ich noch nicht verfüge, und daher halte ich es für besser, sich derzeit weiterer Spekulationen zu enthalten und lieber nach neuen Tatsachen auf dem noch dunklen Gebiete des Radiums in seinen Beziehungen zur Pflanze zu forschen.

Es braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß das Treiben von Pflanzen mit Radium mit Rücksicht auf die außerordentliche Kostspieligkeit des Radiums und seiner Präparate im Gegensatz zum Äther und insbesondere zum Warmbadverfahren[1] für die Praxis keine Bedeutung hat. Immerhin ist es doch von großem Interesse, zu wissen, daß das in so vielfacher Hinsicht so merkwürdige Radium, das den Physikern und Chemikern so wunderbare Erscheinungen enthüllt hat, auch abkürzend auf die Ruheperiode der Pflanze zu wirken vermag.

IV. Zusammenfassung.

1. Die von Radiumpräparaten ausgehende Strahlung hat die merkwürdige Eigenschaft, die Ruheperiode der Winterknospen verschiedener Gehölze in einer gewissen Phase aufzuheben und die bestrahlten Knospen früh-

[1] H. Molisch, l. c.

zeitig zum Austreiben zu bringen. Werden z. B. die Endknospen der Zweige von *Syringa vulgaris* mit starken Radiumpräparaten Ende November oder im Dezember durch 1 bis 2 Tage bestrahlt, so treiben diese Knospen, im Warmhause am Lichte weiter kultiviert, nach einiger Zeit aus, während unbestrahlte unter sonst gleichen Umständen gar nicht oder viel später austreiben.

Die Bestrahlung muß eine gewisse Zeit andauern, sie darf nicht zu kurz und nicht zu lang dauern, im ersteren Falle zeigt sich kein Effekt, im letzteren wirkt die Bestrahlung hemmend, schädigend oder sogar tötend.

Wird die Bestrahlung schon im September oder Oktober, also zu einer Zeit, da die Ruheperiode noch sehr fest ist, vorgenommen, so hat sie keinen Erfolg. Macht man die Versuche im Jänner oder noch später, wenn die Ruheperiode schon ausgeklungen ist, so zeigt sich entweder kein Unterschied zwischen bestrahlten und unbestrahlten Knospen oder es erscheinen die bestrahlten im Wachstum mehr oder minder gehemmt. Sie verhalten sich demnach in dieser Beziehung wie ätherisierte oder in lauem Wasser gebadete Zweige.

2. Noch prägnanter als die in Röhrchen oder im Lack eingeschlossenen festen Radiumpräparate wirkt auf das Treiben die Radiumemanation. Diese eignet sich für das Treiben schon deshalb besser, weil der Angriff von seiten dieses Gases gleichmäßiger und allseitiger ist, während er bei festen Radiumpräparaten ein höchst ungleichmäßiger, mehr lokaler und auf ein kleines Areal beschränkter ist. Das Versuchsgefäß, in dem die Zweige der Emanation ausgesetzt waren, enthielt durchschnittlich 1·84 bis 3·45 Millicurie Emanation.

In einer gewissen Zeit der Nachruhe (Ende November und Dezember) gelingen die Treibversuche mit Emanation sehr gut, wie denn überhaupt das bezüglich der Wirkung der festen Radiumpräparate Gesagte mutatis mutandis auch für die Emanation gilt.

Abgesehen von *Syringa vulgaris* ließen sich mittels der Emanation zur Zeit der Nachruhe auch gut treiben: *Aesculus Hippocastanum, Liriodendron tulipifera, Staphylea pinnata* und einigermaßen auch *Acer platanoides*. Hingegen

ergaben *Gingko biloba, Platanus* sp., *Fagus silvatica* und *Tilia* sp. keine positiven Resultate, die beiden zuletzt genannten Pflanzen reagieren bekanntlich auch sehr schwer auf das Ätherverfahren und das Warmbad.

3. Wenn auch dem Treiben der Pflanzen mittels Radium wegen seiner Kostspieligkeit derzeit keine praktische Bedeutung zukommt, so verdient diese eigenartige Wirkung des Radiums doch die Aufmerksamkeit der Biologen, um so mehr als später gezeigt werden soll, daß ebenso starke Präparate auf wachsende Pflanzenteile gewöhnlich ganz anders wirken als auf in freiwilliger Ruhe befindliche.

Erklärung der Tafeln.

Tafel I.

Fig. 1. Sprosse von *Syringa vulgaris*. Endknospen des Bündels links am 25. November 1910 durch 24 Stunden bestrahlt, rechts nicht bestrahlt. Nach 47 Tagen erscheinen die bestrahlten Knospen zum Teil ausgetrieben, die Kontrollknospen aber am 1. Februar 1911 noch nicht. Die ausgetriebenen Knospen hatten eine Länge bis $7^1/_2$ *cm*.

Fig. 2. Endknospen des Bündels 1 (links) durch 48 Stunden, des Bündels 2 durch 24 Stunden, des Bündels 3 durch eine Stunde, die des Bündels 4 (rechts) gar nicht bestrahlt. Die beiden Bündel 1 und 2 (links) haben getrieben, die beiden anderen 3 und 4 (rechts) nicht.

Fig. 3. Einwirkung der Radiumemanation auf die Zweige. Bündel 1 (links) stets in reiner Luft, Bündel 2 durch 20, Bündel 3 durch 48, Bündel 4 (rechts) durch 72 Stunden in Emanation gewesen. Beginn des Versuches am 27. November 1911. Etwa 1 Monat später wurde der Versuch photographiert. Die Kontrollexemplare (Bündel 1) treiben nicht, die anderen um so besser, je länger sie der Emanation ausgesetzt waren.

Tafel II.

Fig. 4. Sprosse von *Aesculus Hippocastanum*. Sprosse links in reiner Luft, rechts 24 Stunden der Emanation unterworfen. 1 Monat nach Beginn wurde der Versuch photographiert. Die Emanationsknospen treiben, die Kontrollknospen aber fast gar nicht.

Fig. 5. Versuchsanstellung mit Emanation. Glasgefäß links enthält die Radiumlösung und erzeugt Radiumemanation. Gefäß rechts enthält die Versuchspflanzen. Siehe Text, p. 127 bis 129.